DF-P19-09

(社)日本船舶海洋工学会

商船のヒューマンエラー事故防止研究委員会

最終報告書

平成 22 年　3 月

1．研究組織

1)（社)日本船舶海洋工学会造船設計・技術研究委員会造船設計部会委員名簿（H22年3月時点）

本研究は、標記の造船設計部会において活動を行った。委員名簿は以下の通りである。

	氏　名	所　属
◎ 部会長	荒井　誠	横浜国立大学大学院工学研究院海洋空間のシステムデザイン教室　教授
顧　問	井上　義行	横浜国立大学大学院環境情報研究院　特任教授
顧　問	細田　龍介	
＊ 顧　問	福地　信義	
幹事	佐々木　高幸	㈱アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド基本設計部　部長
幹事	内野　栄一郎	三菱重工業㈱船舶・海洋事業本部船舶・海洋技術部　次長
幹事	植村　卓司	ユニバーサル造船㈱舞鶴事業所艦船設計部艤装設計室　室長
☆ 委員	浦　環	東京大学生産技術研究所海中工学国際研究センター　教授
委員	大和　裕幸	東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻　教授
委員	田中　進	広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻　准教授
委員	長谷川　和彦	大阪大学工学部船舶海洋工学教室　教授
委員	金湖　富士夫	独立行政法人海上技術安全研究所海洋リスク評価系　系付上席
委員	越智　宏	(財)日本海事協会船体部　主管
委員	稲垣　秀彦	住友重機械マリンエンジニアリング㈱製造本部船装設計Ｇ　主任技師
委員	久保崎　浩	㈱アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド呉工場船舶海洋設計部船体グループ　課長
委員	安田　耕造	佐世保重工業㈱造船設計部　部長
委員	松本　起宣	ユニバーサル造船㈱商船・海洋事業本部基本設計部艤装設計室　経営職
委員	石本　匡尚	三菱重工業㈱船舶・海洋技術本部船舶・海洋技術部 船装設計課　主席Ｔ統括
委員	松尾　清都	㈱川崎造船技術本部造船設計部船装設計グループ　グループ長
委員	金光　輝二	㈱サノヤス・ヒシノ明昌船舶設計部船装設計課　課長
委員	鈴木　幹久	三井造船㈱船舶艦艇事業部艦艇設計部船装設計課　課長
委員	阪口　克典	㈱アイ・エイチ・アイ　マリンユナイテッド基本設計部船舶計画グループ　課長
＊ 委員	石山　直	三井造船㈱千葉事業所船舶・艦艇事業本部船舶設計部 船装設計課　課長
委員	津上　由紀夫	㈱名村造船所伊万里事業所基本設計部機関計画課　課長
委員	坂本　武	ユニバーサル造船㈱有明事業所設計部船装設計室　室長
○ 委員	長谷川　司	三菱重工業㈱神戸造船所船舶・海洋部計画設計課　課長
委員	松尾　和昭	㈱大島造船所設計部船装設計課　主務
＊ 委員	下司　修一	㈱川崎造船技術本部基本設計部基本計画第一グループ　参事

さらに、造船設計部会の下に、下記の「商船のヒューマンエラー事故防止」研究委員会を設置し、詳しい研究活動を行った。

2)「商船のヒューマンエラー事故防止」研究委員会討議参加・執筆者

	氏　名	所　属
＊	鈴木　啓史	三井造船㈱船舶・艦艇事業本部基本設計部船装グループ
＊	中坪　高	三菱重工業㈱船舶・海洋技術本部船舶・海洋業務部企画課　主任
＊	四角　圭一郎	三菱重工業㈱船舶・海洋技術本部船舶・海洋技術部　神戸技術グループ
＊	要　健一	㈱川崎造船技術本部造船設計部船装設計グループ
＊	大田　純一	㈱川崎造船技術本部造船設計部船装設計グループ

☆：(社）日本船舶海洋工学会　造船設計・生産技術研究会　委員長

◎：P102「商船のヒューマンエラー事故防止」研究委員会　委員長

○：　同　研究委員会リーダー

＊：　同　討議参加・執筆担当

2．研究発表　：　KANRINにて活動の概要を報告した。

3．研究成果　：　次頁以降に報告書の概略を示す。

商船のヒューマンエラー事故防止研究委員会　報告書

はじめに

近年、従来までは発生しえなかった、或いは クレームとして今まで常識では取り扱わなかった機器/配管の損傷報告が、操船時事故（衝突、座礁等）以外でも増加しているとの報告がある。様々な要因が輻輳した損傷と考えられるが、一方で、従来は人間系でカバーされていたものがカバーしきれず起こったいわゆるヒューマンエラーを一因とする事例も多く含まれるという報告もある。（国土交通省「公共交通に係るヒューマンエラー事故防止対策検討委員会」平成 18 年 4 月）

船舶の操縦/操作系は、人間系－機械系システムであり、人間系に一定レベル以上の判断・操作能力を期待するシステムである。人間の思考・行動能力は環境負荷や仕事内容などの外部環境によって大きな影響をうけるため、環境負荷による心身能力低下の変化や緊張ストレスからの事故防止のシステム設計が必要との要望もある。

しかし、近年の省人化・混乗化および輸送効率の改善等による技術伝承の不足が、船舶機器を操作するため基礎知識・思考・行動能力の低下に繋がっているとの意見もある。

船舶の中でも、艤装という特殊な複合の機械システムの操作においては、従来から各機器の取扱説明書程度があるだけで、各機器が複合された艤装というシステムに対して総合的な操作説明書などはなく、経験則による人間系に拠るところが大きく、人間系（乗組員）の基礎知識の低下は、即事故に繋がる可能性が高い。

そのため今回の P102 では、ヒューマンエラーを防止する設計基準の第一弾として、船舶における艤装システムの基本操作に対する、建造側からのいわゆる「艤装システムの操作マニュアル」を整備することを試みる。これは教育を受けた船員を対象とした、複合された各機器を総合的にみたプラントシステムに対する「取扱説明書」であり、これまで徒弟制で、運航会社毎に相違があった操作の手順書/注意事項の基本を明記することに重点をおいた説明書を目的とする。

今回、複合艤装システムとして、VLCC を対象に係船装置/貨油管装置/バラスト管装置にテーマを絞り、作成する。

1章　ヒューマンエラーと信頼性解析

1.1　人間－機械システムの事故

1.1.1　ヒューマンエラーを誘発する要因

人間がおこすエラーは非常に多岐にわたっており一般的な性質を見出すことは困難な作業であるが、人間－機械システムで起こるヒューマンエラーの原因を大きく分類すると、以下の項に分けられる。

(1)情報伝達の不備
(2)認知・確認のミス
(3)誤判断
(4)誤操作
(5)技量不足
(6)作業基準の不備
(7)指示系統の不備
(8)点検不良

これらの原因は互いを誘発する。つまり情報伝達の不備や認知・確認ミスが誤判断を誘発したり、技量不足・作業基準の不備が誤操作を誘発したり、指示系統の不備により情報伝達の不備がおこったり、点検不良に起因して認知・確認のミスがおこったりするなど、それぞれの原因の相関の高い低いはあるが、単独で起こるケースが少ないといえる。

またこれらの原因を誘発する下地が存在する。ヒューマンエラーの発生を防止するためには上記の直接的な原因だけではなく、エラーに至る過程を分析せねばならない。人間の情報処理過程はコンピュータと同じで、情報の取得・選択・判断・決定・操作の順に行われる。それぞれの過程でエラーが起きる可能性があり、前段階までにそのエラーを誘発した要因があることが考えられる。

エラーを誘発する要因はあいまい(ファジー)である。見難い計器は読み間違う可能性があるが常に読み間違うわけではないし、よく似たスイッチが並んでいると操作すべきスイッチを間違う可能性があるが常に誤操作するわけではない。作業員の技量だけではなく、当日の体調などによってもエラーを起こす可能性が変わる。ヒューマンエラー解析ツリーで、確率を導入する根拠はここにある。

1.1.2　取扱説明書の重要性

システムの設計者は作業内容をよく吟味して、人間・機械の特性を活かした人間−機械システムをつくる必要がある。そして、システムの使用者がその理念、すなわち「正しい使い方」をよく理解し

て作業を行う必要がある。そのシステムにおける人間・機械の役割について使用者に誤解があると、効率も落ちるしエラーが起きる可能性も高くなる。

この「正しい使い方」を使用者に伝える手段が取扱説明書である。取扱説明書には、機械を活用してシステムを安全に効率よく運用するために人間が理解しておかねばならない事項を明瞭に記載せねばならない。

また、事故が起きた際には、事故原因の究明のために事故時のシステムの状態を明らかにする必要があるが、どのようなパラメータ（エンジン回転数・電力消費状態・周囲温度など）により状態を表現できるかは取扱説明書から知ることができる。つまり取扱説明書にはどのような条件下でどのような入力を行うとどのような出力が得られるかが記載してあるが、それぞれの「どのような」という部分に使われているパラメータを使用者が意識していれば、事故時の状況が再現しやすい。この意義から、取扱説明書は使用者がどのパラメータが重要かを理解しやすいように作成するべきである。

使用者は、取扱説明書をよく読み、機械に対する「盲信」や「誤解」を排除せねばならない。「分からない時に初めて取扱説明書を開き、該当しそうなページのみを拾い読みする」といった読み方ではなく、使用前に通して読むべきである。

1.2　解析手法

1.2.1　信頼性評価

故障モード影響解析法は新設計システムのハードウェア面の持つ弱点の系統的把握と信頼性保証に有効な方法であり、部品レベルの不具合がシステム全体に与える影響とシステムの信頼性を試作段階に入る前に事前検討するために有効である。本解析法はシステムの全構成部品について使用中の潜在的な故障モードを仮定し、この不具合が上位構成品、サブシステム、システム全体へ及ぼす影響を検討し、信頼性上の弱点を指摘・適切な対策案を見出すものである。本解析法はハードウェアの単一故障の解析に最適であり、構成品目のすべてについて故障の検討が可能である。

解析は以下の手順により行う。

(1)　製品に生じうる故障を想定して故障の原因・影響を調べる。
(2)　システム設計者は FMEA シートを作成する。
(3)　信頼性・安全性・品質管理担当技術者が調査・審査し、故障の影響をなくすための調査法と防止策を導き出す。

1.2.2　ツリー型解析法の概要

ある事故が起こることを防止したい時、まずその事故が起こった原因を特定し、次に再発を防止するための対策を検討する必要がある。しかし、システムが大きく複雑になってくると、その対象とする事故に関していろいろな事柄がいろいろな組み合わせで関わってくるので、どのような場合にどういった原因でその事故が起き、どのような対策が最も有効なのかが簡単には分からない場合が多い。そのため、場当たり的な検討ではなくシステマティックな対策検討手法が必要とされる。ツリー型解析法は上記のようなニーズにこたえる手法であり、ヒューマンエラーの解析手法として一般的に用いられている。

ツリー型解析法を用いることにより以下のメリットが得られる

- 関係する事象の相互関係が明らかになる。
- 第三者が状況を理解しやすくなる。
- 枝葉末節を省き、現象の輪郭をわかりやすく表せる。
- ある対策が全体にとって得か損かが評価できる。

1.2.3 フォールトツリー解析（FTA: Fault Tree Analysis）

解析対象となる事故を頂上事象として、どのようにしてその頂上事象に至るのかをトップダウン的に解析していく手法である。(図 1-1 参照）　頂上事象に至る要因となる事象を中間事象として、頂上事象と中間事象の関係をAND 結合・OR 結合などの論理式を用いて階層構造として表す。中間事象に至る要因となるさらに下層の中間事象を検討し、階層構造を増してゆく。もうこれ以上原因を追及しない事象を基本事象と呼ぶ。この頂上現象から中間事象を経て基本事象にいたる論理式の階層をフォールトツリーと呼ぶ。階層が少なく、階層間の関連も簡単であるならばフォールトツリー解析の必要は無い。しかし、多くの事象の組み合わせで事故が起こる場合、それらの組み合わせを場当たり的に探すことは容易でない。

フォールトツリー解析を行う利点は以下にまとめられる。

(1)　事象の組み合わせをシステマティックにまとめることができる。
(2)　事象間の関連を明記できるため、解析者の思考の整理に役立つと共に、容易に第三者が事故の成り立ちを理解できるようになる。
(3)　事故が起きる際は様様な事象が発生するが、事故とかかわりの無い事象を捨象することにより事故の骨格を現すことができる。

フォールトツリーを作る際は以下のことに注意する必要がある。

(1)　関連する事象の内容や探索のプロセスを明記する。これにより解析者の思考が整理され、解析内容が第三者に明確に伝わる。
(2)　事象の内容を記述する際にはその事象を捨象する必要があるが、重要な事項を落としてしまわないようにすること。

フォールトツリーは事故に至るシナリオを解析者が想定しながら作成するため、解析者の経験等の資質により抽出する事象が異なってくることがありうる。解析者の資質による解析結果のブレを少なくするためには同類の事故のバリエーションツリー解析(1.2.5 節参照)を数多く行い、抽出する事象の一般性を増すことが必要である。

フォールトツリー解析は頂上事象を構成する基本事象間の構造が把握しやすく、事故の最大原因を抽出できるため事故防止対策を策定しやすい。

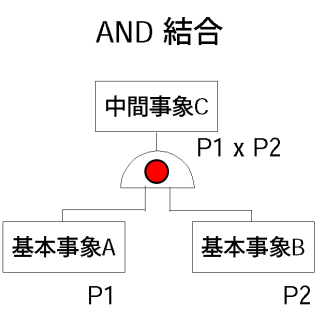
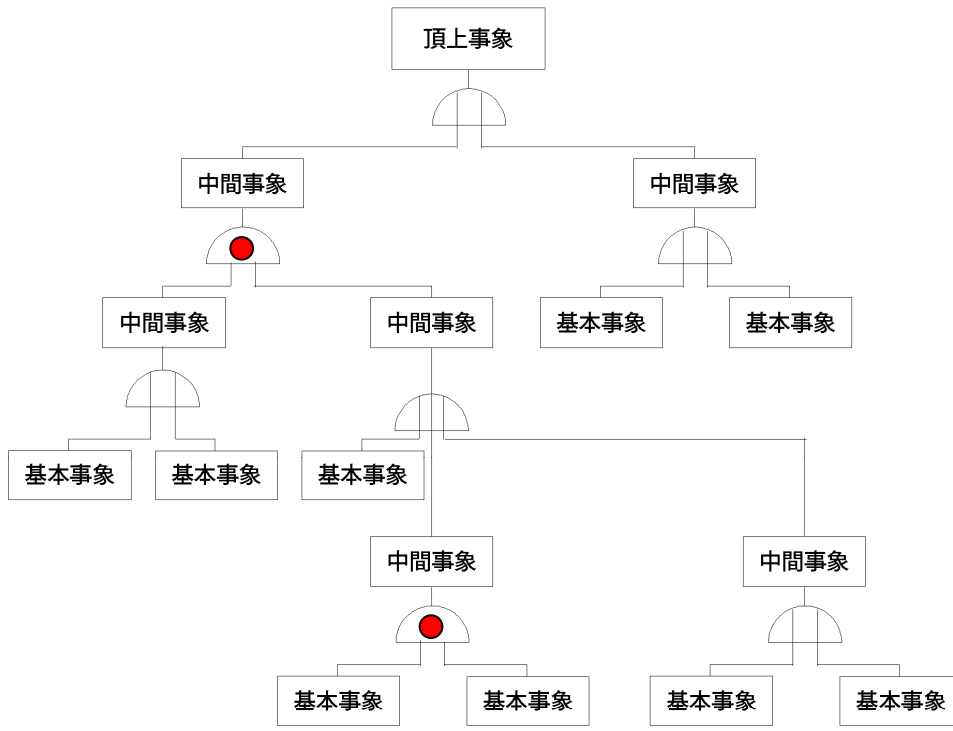
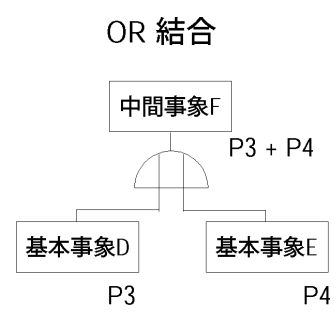
複雑なシステムにおいては、フォールトツリー作成の際に AND/OR 結合や条件付き結合で表現できない場合がある。対策としてより複雑な論理式を用いることも考えられるが、論理式が複雑になりすぎると基本事象と頂上事象の因果関係の見通しのよさが失われ、頂上事象の生起確率の算出が難しくなる恐れがあるため、どの程度単純にモデル化するかはバランスを考える必要がある。

基本事象 A の生起確率が P1、
基本事象 B の生起確率が P2 の時、
中間事象 C の生起確率は P1×P2 となる。

基本事象 D の生起確率が P3、
基本事象 E の生起確率が P4 の時、
中間事象 F の生起確率は P3+P4 となる。

図 1-1 フォールトツリー解析

1.2.4　イベントツリー解析（ETA: Event Tree Analysis）

フォールトツリーは結果から初めて「なぜこうなったか」を検討していくものであるが、イベントツリーは逆にある起因事象を起点にしてどのような事象が結果として起こりうる可能性があるかを検討していくものである。イベントツリーにおいては各事象の推移は時系列的に並べられ、分岐となる事象（ヘディング事象）は関連する組織・系統・機器・作業者などが所定の機能を果たすかどうかの Success / Fault のバイナリ型分岐により表現される。(図 1-2 参照)

ヘディング事象の Fault の確率を Pn とするとその分岐の Success の確率は 1-Pn であらわされる。結果事象の生起確率は各分岐の S/F の成否確率の積により算出される。ヘディング事象の Fault の確率は、フォールトツリー解析を用いて求めることができる。

イベントツリー解析は一つの起因事象を起点に出発するため複数の起因事象が関係する事故については記述できない。しかし、状況によりヘディング事象の生起確率が変わるような場合には、分岐シナリオを用いてその状況を規定することにより各状況における生起確率を用いることができ、定量的な対策と評価を行うことができる。

イベントツリー解析において、解析者の経験等の資質によりヘディング事象として抽出する事象が異なってくることがありうる。解析者の資質による解析結果のブレを少なくするためには同類の事故のバリエーションツリー解析(1.2.5 節参照)を数多く行い、抽出する事象の一般性を増すことが必要である。

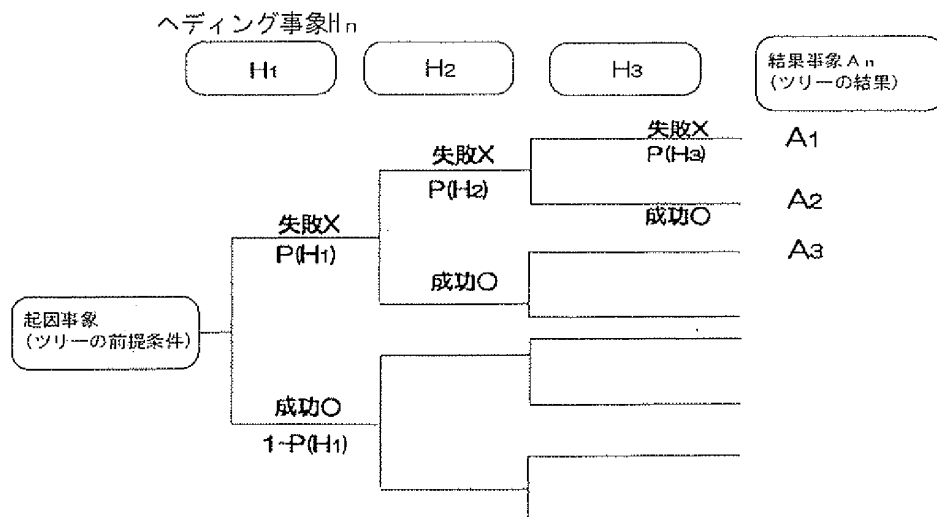



図 1-2 イベントツリー解析

1.2.5 バリエーションツリー解析（VTA: Variation Tree Analysis）

フォールトツリー解析、イベントツリー解析とも各事象は確率を持って表現されるが、バリエーションツリー解析は確定事実のみを解析対象とするものであり、すでに起こった事故を定性的に事後解析する手法である。この解析方法においては、通常通りに事態が進行すれば事故は発生しないところ、通常とは異なる要因が入ったために事故が起きると考え、この通常とは異なる要因を変動要因と呼ぶ。バリエーションツリーは変動要因がいつ発生したか、どのように事故に関与したかに注目し、それらを時間軸に沿って詳細に記述することにより事故の全体像をわかりやすく図示するものである。

記述は以下のルールに従う。(図 1-3 参照)

- バリエーションツリーは左端に時刻を記載し、時間は下から上に向かって経過するものとする。
- 中央のツリー部分では不具合発生して連鎖していく経緯を表す。頂上が最終的に発生した事故となる。
- 変動要因が実際の挙動なのか、オペレータの判断なのか、環境の変化なのか、などは、シンボルにより区別する。
- 実際に起きたことだけではなく、実施され無かった行動も記す。
- 影響のある項目は矢印により結ぶ。
- 右の欄外にツリー部分の補足説明を記載する。
- ツリーの下には前提条件や事故が起きた環境など一般事項を記す。

バリエーション・ツリー解析の典型的な図

操船者・船舶の挙動・状態に関する事項
例：減速、進行、回避状況、方向など

操船者の認知・判断・心身状態に関する事項
例：確認、発見、速度選択、状況判断

操船環境・設備等に関する事項
例：視野、視界、航路の状態

分析で疑問のある事項
例：操船者の行動、発生経緯、時間経過など

実施されなかった行動

影響がある項目
関係船舶、環境など、時間軸も両矢印で表記

(n) 説明、右に該当番号の説明を記す

排除ノード、該当する変動要素の右肩に付ける

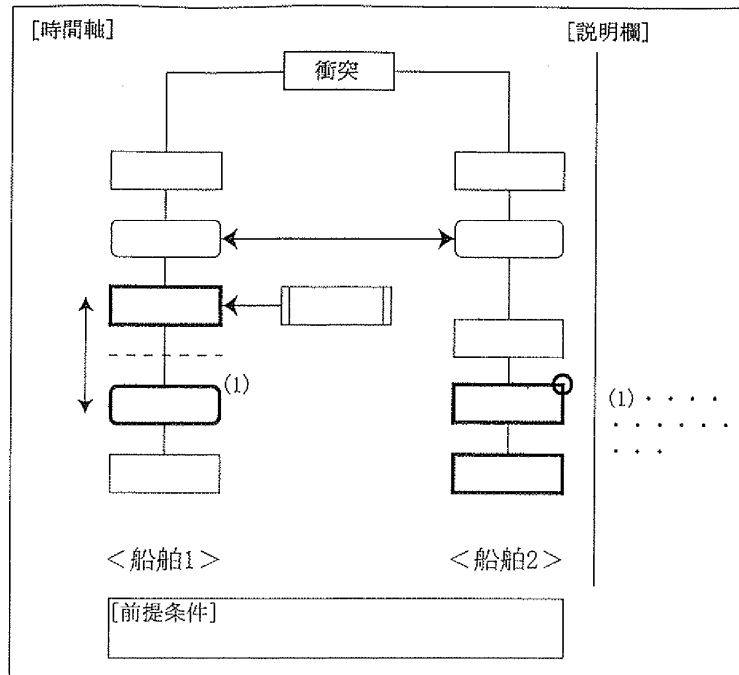
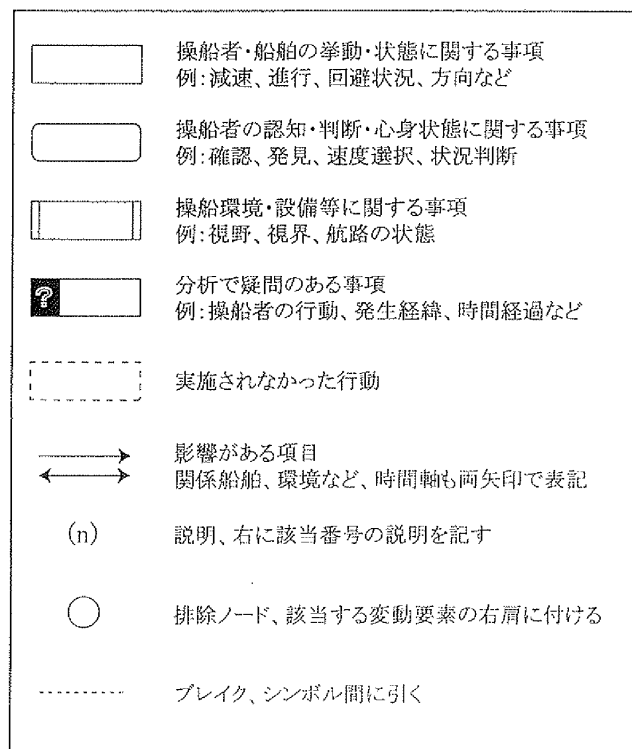
プレイク、シンボル間に引く

バリエーション・ツリー解析で用いられるシンボル

図 1-3 バリエーションツリー解析

2章　トラブル事例

2.1 係船装置に関するトラブル事例および解析例

本章は、トラブル事例について、イベントツリー解析を行い定量的な評価を行った。

一例として、係船装置に関するトラブル事例およびその解析例を以下に紹介する。

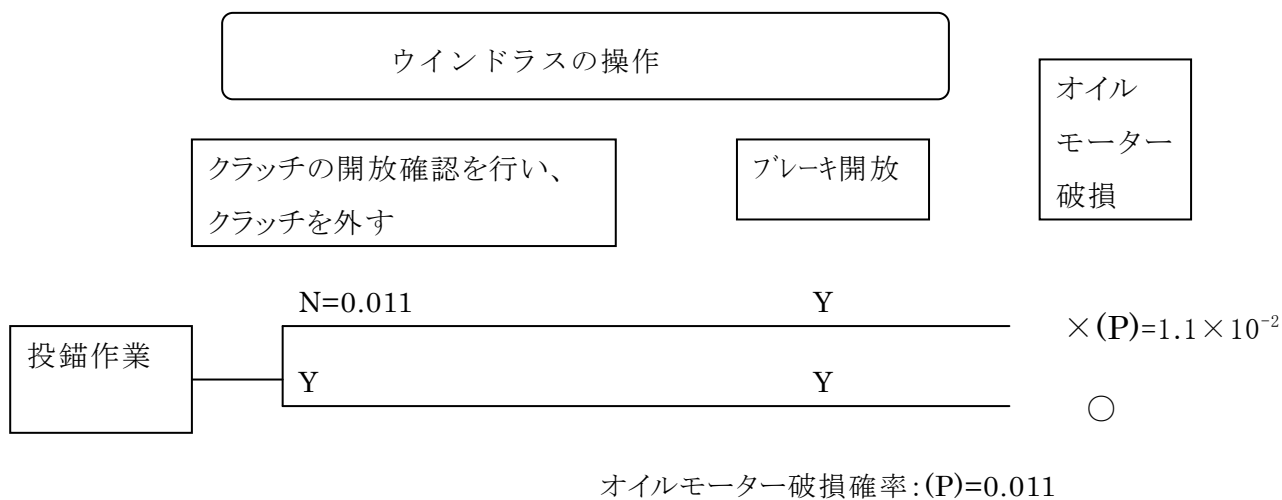
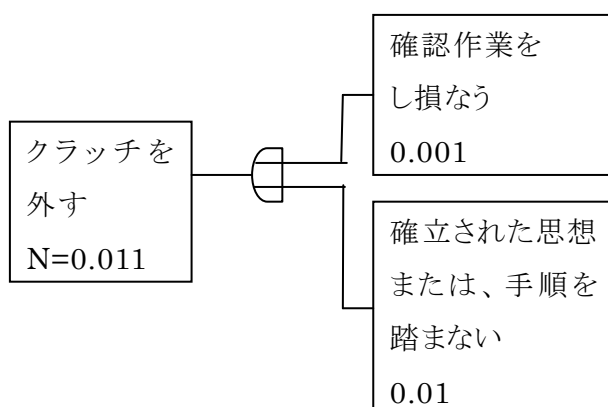
(1) 投錨作業におけるオイルモーターの破損事故

甲板員は、係船デッキで投錨作業を行なっていた。

投錨の方法としては、一旦錨をホースパイプの下方(水面付近)まで下ろす(Cook bill)方法をとっていた。

錨を水面附近まで下ろした後、ブレーキを良く閉め、いつでも投錨できる状態にしていた。

一等航海士から「レッツ・ゴウ・アンカー(投錨！)」との指示があったので、甲板員はウインドラスのブレーキを開放させ投錨した。

その際、ウインドラスのクラッチを外さず(クラッチを入れた状態で)ブレーキを開放させた為、ウインドラスのオイルモーターを破損した。

＜ヘディング事象の生起確率推定のためのフォールトツリー＞

（対策）

　オペレーション手順の再確認を行う。

　投錨を行なう際は、ウインドラスのクラッチを外してから行なう。

記号説明(以下、各事例も同様)

○：無事故

×：事故発生　(P：発生確率)

Y　：作業遂行

N　：作業せず

：OR 結合（論理和）

：AND 結合（論理積）

3章　係船装置

船舶の操船のなかで、係船作業について記載された文献は少なく、又　ウインチ、ウインドラス等、個々の機器自体の操作は、製造者から各マニュアルが提出されているが、装置群全体の作業マニュアルは整備されておらず、操作ミスによるトラブルも少なくない。このような背景から、本項では、設計者が考える、投錨・揚錨及び係船作業の操作要領の概略について述べる。

3.1　錨泊

3.1.1　錨泊法　（Anchoring）

錨泊時や港湾に出入りするときには、規則に従い、あるいは海上の慣習による船舶運用の原則に基づいて操船し、着岸・離岸の作業は、船長の総指揮のもと、甲板部は甲板上にて、機関部は機関室内にて総員が配置につき、作業を進める。一般的な甲板部員の部署を表３－１に示す。

表３－１　甲板部における出入港部署

船　橋	船長、三等航海士、甲板手（操舵手）
船首係船甲板	一等航海士、甲板長、甲板手（船匠）、甲板員数名
船尾係船甲板	二等航海士、甲板手（甲板庫手、操舵手）、甲板数名

代表的な錨泊法を図３－１に示す。

図３－１

3.1.2　投錨法　（Letting go the anchor）

単錨泊と双錨泊の、それぞれの長所、短所を表３－２に纏める。

表３－２　単錨泊と双錨泊の比較

	停泊場所	錨鎖と錨の絡み	錨鎖同士の絡み	錨作業	投揚錨作業時間
単錨泊	広い場所がいる	可能性がある	ない	やさしい	かからない
双錨泊	狭くてよい	ない	絡み易い	めんどう	かかる

投錨作業時、操船責任者である船長は、船橋（Bridge）に居て投錨の状況を見ることができないため、船首係船甲板にいる作業担当士官（通常は一等航海士（Chief officer））は、

その状況と錨鎖の繰り出し方向を船長に適時報告しなければならず、また必要に応じて機関の使用を船長に進言しなければならない。甲板長がその作業の指揮者となり、甲板手がウインドラスの操作に当る。投錨の際の、船長の命令（Order）と対する作業担当士官の復唱(Answer back)の号令詞は以下に示す。

Order	**Answer back (Reply)**
○ 右（左）錨用意　Stand by starboard (port) anchor.	○ Stand by starboard (port) anchor, sir.
○ 錨入れ　Let go.	○ Let go, sir.
○ 錨鎖…節水　(No. of shackles) in the water.	○ (No. of shackles), in the water, sir.
錨鎖…節上甲板　(〃) on deck.	(〃), on deck, sir.
錨鎖…節「ホース・パイプ」(〃) Hawse pipe.	(〃), Hawse pipe, sir.
錨鎖…節「ウインドラス」(〃) Windlass.	(〃), Windlass, sir.
○ 延ばせ　Pay out.　又は　Slack away.	○ Pay out, sir. Slack away, sir.
○ 抑え　Hold on.	○ Hold on, sir.
○ 留切り　Make fast.	○ Make fast, sir.
	○ Brought up, sir.（錨が十分に海底を掻いたときに報告する）

（１）錨の海底へのくい込みブリングアップ（Bring up）

錨鎖を繰り出しただけでは錨に把駐力を生じないことがあり、一般に後進惰力が微弱なときに投錨して水深の約 1/2～2 倍程度に錨鎖を繰り出したところで､錨の把駐力を強めるために、ウインドラスの摩擦ブレーキを一旦締めて、錨の爪（Fluke）を海底にくい込ませ、鎖を少し緊張させて左右に振れつつあった船首方向を一定にして、ウインドラスのブレーキを通じて船体に手応えがあることを確認した後、錨鎖を弛緩して所要の錨鎖を繰り出していく。このように錨が確実に海底にくい込んで係駐力を生じさせた状態をブリングアップ（Bring up）という。

この作業の間、もし鎖に緊張がなければ、錨に係駐力が生じていないことがある。海底が岩盤等でない限り、絡み錨（Foul anchor）になっていることもある。絡み錨の疑いがあるときは、一度錨鎖を巻き込んで錨や錨鎖の状況を点検する必要がある。

（２）単錨泊の投錨法

投錨の際には、通常　船に前進または後進の惰力が必要で、停船中に投錨しても、錨の上

に錨鎖が積み重なって絡み錨鎖となり、錨も海底を掻かない状態になってしまう。
前進時の投錨を前進投錨、後進時の投錨を後進投錨という。商船では、一般に後進投錨を行う。

（a）後進投錨法

主機関をスタンバイし、減速しながら予定錨地に接近し、投錨地点のやや手前で機関停止し、惰力で前進した後、予定錨地のやや手前で機関を後進にかけ、船が投錨予定地点をやや行き過ぎた付近で後退をし始めた時に投錨する。錨鎖が水深の 1/2～2 倍程度に伸出した後、一旦ブレーキをかけて錨かきを確かめる。

後進力がつき始めた時に機関を停止し、後進惰力を利用して所定の伸出量まで錨鎖を伸ばして投錨を完了する。

風潮の影響がある時は、風潮上の錨を使用すれば船体との擦過が避けられる。

後進投錨では、操船性、船体の保針維持及び予定投錨地点への正確な投錨は難しいが、錨鎖を常に船首方向に張ることで、ホースパイプの下縁での無理な折れが生じないことから、錨鎖を切断するなどの折損トラブル発生の可能性は低い。機関の使用にあたり、錨鎖に過大な張力がかからないよう適宜注意をする。

（３） 双錨泊 （Mooring） の投錨法

双錨泊の投錨方法には、第 1 錨を前進で投錨する（ランニングムアー（Running mooring／Flying mooring））か、後進しながら投錨する（通常方法（Ordinary mooring））の 2 通りがある。商船では一般に前進投錨が行われる。
両舷錨鎖の繰り出し長さとしては、原則として、その場の水深に対する単錨泊の場合と同長を繰り出す。

（a） 前進投錨法（Running moor）

予定錨地の前面に余地のないような場合に行われる。まず錨地に減速して近づき、予定錨地の手前において、予定伸出錨鎖長に相当する距離に達したとき、前進行き脚を有したまま第 1 錨を投じる。
次に錨鎖繰り出しながら前進し、予定錨鎖長さの 2 倍程くり出した所で、船の前進力を止めるように操船して、第 2 錨を投下する。必要に応じて機関を後進にかけ、第 2 錨の錨鎖を伸ばしつつ第 1 錨の錨鎖を巻き、錨位線の中間（両舷等長になったとき）で、錨鎖を張り合わせて作業を終る。
第 1 錨として、どちらの錨を用いるかの決定は、錨鎖のからみ防止を考え、風向が右に回ってゆく傾向（各地での風向の変化は地形や気象状況で略定常性がある）があれば右舷錨から、風向が左に回る場合は左舷錨から投錨する。

その他の場所では、機関を後進にかけるため、右舷錨を第1錨とする。
また錨鎖の伸出量を両錨4連ずつとする場合、第1錨は水深等を考慮して8.5～9連を伸出して張り合わせ、4連の連結用シャックルをオンデッキの状態にする。絡みを解く際に有利である。錨位線は、流向に平行になるように投錨しないと係駐力が小さくなる。
本法は操船が容易で、正確に投錨ができ、投錨操船時間も短くてすむが、第1錨の錨鎖に過度の力がかかり、外板にも損傷をあたえる恐れがある。

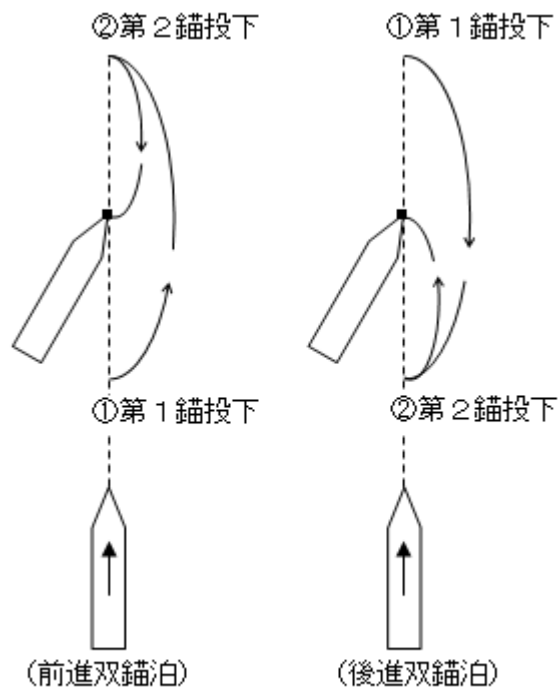



図３－２　双錨泊の投錨操船

3.1.3　守錨法

守錨法とは、錨泊中に安全な錨泊を維持するための対処法をいう。

（１）　単錨泊の場合の走錨に対する対処

単錨泊の場合、風潮の変位によって、船は錨を中心に振れ回り、錨鎖は海底を引き回される。そのため、予想した十分な係駐力が得られず、また錨の爪が海底の突起物に跳ねられ絡み錨の状態になったときに風潮が大きくなると、錨と錨鎖が引きずられて走錨することがある。錨鎖の繰り出し長さが適当でないときや錨かきが悪いときは、風浪など外力が大きくなり、錨と錨鎖の係駐力を超えたときは同様の結果になる。

走錨は、以下の方法で監視をする。

- 他船の動静、外部からの信号又はＶＨＦの情報など四周の状況に注意を配り異常がないか注意をはらい､陸上物標の方位を刻々監視し､船位を海図に記入して確認する。（3 物標からクロスベアリングをとり、その移動範囲から知る）
- 鎖が張った状態から、急に緩む状態に変化していないか、船体に異常な衝撃を受けていないか。
- 周期的な振れ回り運動が止まり、風を片舷から受けていないか。

一旦、走錨した錨は、その舷の錨鎖をさらに繰り出しても走錨を止める効果はあまりないため、すぐに第 2 錨を投じる。従って、風力が増大しそうなときは、第 2 錨の投下の準備をしておく。

また、直ちに船長に報告して機関を用意し、前進にかけ揚錨して転錨する措置をとる。付近の錨泊船に対して注意喚起信号又はＶＨＦで情報交換をし、緊急事態が予想される場合にはタグを要請して援助を求める。

また、天候が変わり、風力が増して荒天が予測される場合には、早目に錨鎖を繰り出して係駐力を確保する。

荒天時には、過大な張力が錨鎖に掛からないように、その張り工合を監視して、適宜機関を用いて錨鎖に無理な張力を掛けないように注意を要する。

（２）　絡み錨及び絡み錨鎖に対する注意

単錨泊中の絡み錨を防止するために、風潮の変位毎に船が振れ廻るときは、錨の直上を通過させないように、まず、投錨の際に適度の惰力を持たせて錨の上に錨鎖が集まることを避ける。錨泊中は、舵を錨鎖側に切る。また風潮に合わせて適宜錨鎖を適量の長さまで巻いておく。

双錨泊の場合には絡み錨の可能性は小さいが、船体の振れ回りによって両舷の錨鎖がからみ合って、絡み錨鎖となる場合がある。投じた 2 つの双錨を結ぶ線と風潮の転変の方向が平行の場合には、舵を使って絡み錨鎖を防止する。

図３－３に示すとおり、右舷の錨鎖がライデングケーブルのときに風潮が 180°変位した場合、その変転時に舵を左舷一杯として船尾を右舷に振らせ、変転後に舵を右舷一杯とする。

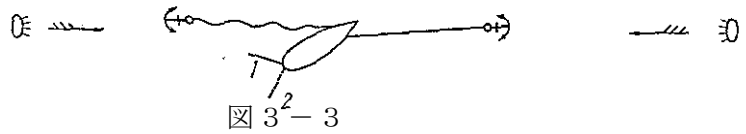



図３－３

2 つの錨を結ぶ線と風潮変転の方向にある角度があるときは、常時船の振れ回りに注意して、舵その他によって絡み錨鎖にならないように注意する。

（３） 検錨 （Sighting anchor）に対する注意

河川港での錨泊は底質が泥土で柔らかく長期間停泊した場合、錨は次第に沈下埋没する上に、船の振れ回りによる錨鎖の捻りか重なり、巻き揚げ不能になることがある。長期間錨泊する場合は、時々錨を巻き揚げて、錨鎖の捻りを取るとともに、錨の埋没を防止する。再び錨を投じるときは、同じ舷の錨を使用しないように、使用中の錨が海底を離れたと同時に、もう片舷の錨を投ずる。これを検錨（Sighting anchor）という。

3～4 日毎の検錨が適度とされ、検錨は無風の時よりもやや風潮がある時に行い、係駐力を確認する。

3.1.4　揚錨法（Weigh up anchor）

作業担当士官は揚錨作業において、錨鎖が張っている方向を手や腕等で作業員に示し、またホイッスルとインターホーンで錨鎖の連結用シャックルがホースパイプへ入る毎に示してウインドラスのチェーンカウンターと合せて残余連数を確認する。船長へは錨と錨鎖の状況を適時報告する。

揚錨の際の、船長の命令（Order）に対する作業担当士官の復唱(Answer back)の号令詞は以下のとおりである。

Order	Answer back (Reply)
○ 捲方用意 (Stand by heave in the cable.	○ Stand by heave in the cable, sir.
○ 捲け (Heave in.)	○ Heave in, sir.
○ 捲方待て (Avast heave in. または Hold on.)	○ Avast heave in, sir. Hold on, sir.
	○ 残り……節……Shackles more, sir.
	○ 近錨 (Short stay, sir.)
	○ 立錨 (Up and down, sir.)
	○ 起錨 (Anchor aweigh, sir.)
	○ 正(搦)錨 (Clear anchor, sir.) (Foul anchor, sir.)
	○ 揚錨完了 (Up anchor, sir.)
○ 締め (Make fast.)	○ Make fast, sir.
○ 左 (右) 投錨用意 (Get the port (Starboad) anchor ready for letting go.)	○ Get the port (Starboard) anchor ready for letting go, sir.
○ 錨収め (Stow the anchor.)	○ Stow the anchor, sir.
○ 錨収め (Stow both anchors.)	○ Stow both anchors, sir.

（１）揚錨に関する注意事項

(a)　揚錨中に錨の爪が船首材（Stem)に引っかかることがあり、この状態をステムアンカー（Stem anchor）という。この対処として、一度錨鎖を繰り出して錨を下げたのちに再び巻く。数回試みても状況が変わらない時は機関の前後進やスラスターを用いて状況を見ながら揚収する。

（ｂ）　長期間の錨泊後に揚錨した際に錨鎖の捻れにより絡み合って巻き込みが難しい場合には、巻き込み/繰り出しを交互に繰り返し、徐々に捻じれを解く必要がある。夜間には、この絡みに気づかずにウインドラスの最大負荷によって巻き込んでしまうおそれがあり、錨鎖又はウインドラスを破損することがあるので注意を要する。

（ｃ）　泥土に埋没し抜錨が困難なときや風潮が強いときの揚錨は、機関によって船首を錨の直上まで移動してから巻き込む。

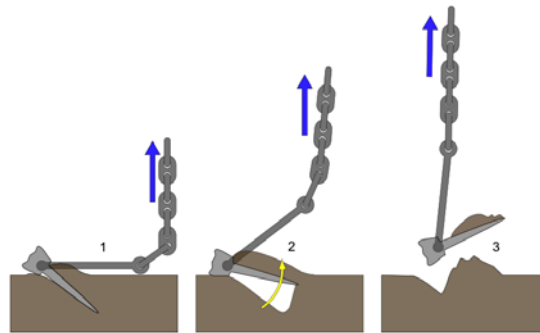



図３－４　抜錨の動き

（ｄ）　風潮が強いときの揚錨は、錨鎖が近錨の状態(立錨の前)になったときに走錨のおそれがあり、船尾に広い水域があれば問題はないが、浅所、他船係留等があるときには、必ず他舷錨の投下及び機関の準備をして圧流を警戒しておく。

（２）　捨錨（Slipping　anchor）

状況によって揚錨不能または揚錨に時間の余裕がない場合は、錨鎖を切断して錨を捨てて出港する。これを捨錨（Slipping anchor）という。

3.2　横付係留

3.2.1　着岸法

（１）　入船係留

（ｉ）　右舷側横付接岸

船体中央線と岸壁線をほぼ平行に保針し、その距離が船幅の 1～3/2 倍の位置にて、機関を停止して低速前進惰力で進入し、横付予定位置の手前の、船長と同じ長さのところで舵を左に取って左回頭をしつつ機関を後進の微速または半速にして、同時に、船首索とフォワードスプリングを岸壁へ送る。このとき、船は一旦、左回頭をするが、機関の後進により遅れて右回頭をし、予定の接岸位置に正横で岸壁線と平行に停止するように操船する。

船首索とフォワードスプリング（要すればアフトスプリング）を巻き込み、岸壁に船首を幾分内側に向けたまま引き寄せる。

機関の後進による右回頭が予想以上に大きくなり、前進惰力が停止する前に船首部を岸壁に衝突させるおそれが予想される場合には、すぐさま　左舷錨を投じて右回頭を抑止する。投錨によって反対に左回頭が大きくなり船尾部が岸壁に接近し過ぎるようなときは、船首索とフォワードスプリングで調節する。

また、風潮を船首に受け機関後進による右回頭が急速になる場合があるときは、係留予定位置をおよそ船長の約 $^1/_2$ ほど通り過ぎて惰力を止め、船首索を前方のビットに取って、舵を使用して流圧により岸壁に近寄らせながら接岸作業をする。流圧が強い場合は、時々機関を前進にして流圧を緩和する。

風潮が岸壁面に直角に向いているときは、接岸予定位置の正横のやや遠めに停止して、船首尾索を送り、船首をやや内側に向け、係船索を巻き込んで、船を岸壁に近づける。風潮が強いときには引船を船首尾に付け、急激に岸壁に近づくのを防ぐ。

風潮が岸壁側から沖合に向いているときは、船はやや岸壁の近くに停止させ接岸作業を行う。風潮が強いときは接岸が難しいので、風潮が弱くなるのを待つか、タグボートを使って船首尾を押させる。

岸壁にて、先に係留している他船の前方に入船つなぎをする場合は、他船の舷側から船幅の約 1 $^1/_2$ 倍ほど離れた位置から、上述の要領で接岸をする。

（ⅱ）　左舷側横付接岸

船（ペラが右回りの場合）は、右舷接岸とするよりも左舷接岸のほうが、操船が容易と一般にいわれる。船体中心線が岸壁線に対し 1/2～１点の角度で入り、横付予定位置よりやや前方を目指して保針する。

超低速惰力で進入し、船首から係船索を出し、右舵によって右回頭をするとともに機関を後進微速または後進半速として、予定位置に船を正横に停止させる。このとき、船は機関後進により船尾が左転して、船はほぼ岸壁に平行か、または船首を若干内側に向けるよ

うに停止させるが、岸壁に接近しすぎた場合または進入速力が過大だった場合には、右舷錨を投じるか、機関を全速力後進として対処する。また右回頭が過大なときは船首索やフォワードスプリングによって対処する。

風潮を岸壁線と平行に受けたとき、それが微弱であれば影響はないが、これが強い場合には、前進速力を若干速めの前進速度を保持して進入し、予定位置よりもやや前方で船を停止して船首索を出し、姿勢を制御しながら接岸する。

風潮を沖合から受ける場合の着岸は問題ないが、陸側から受ける場合には引船等の補助をつける。

風潮がなく、他船の前方または他船間に割り込んで係留する場合には、他船の舷側から本船船幅の約 3/2～2 倍離れた位置から上述の作業を開始する。

（２）　出船係留

出船係留の場合は、係船予定位置の奥に回頭する余地があり風潮を船尾に受けて進入するときには、まずその奥まで進入し、回頭した後に横付係留をする。その余地がない場合には、予定位置の手前で 180°回頭後、後進にて岸壁に接近する操船を行う。

(ｉ)　船尾に風潮を受け進入する左舷横付

風潮を船尾に受けて、左舷側出船つなぎに横付する場合、係留予定位置への進入速度は低速とする。係留予定位置の手前に向けて保針し、徐々に右転して風潮を右舷側に受けつつ惰力前進する。

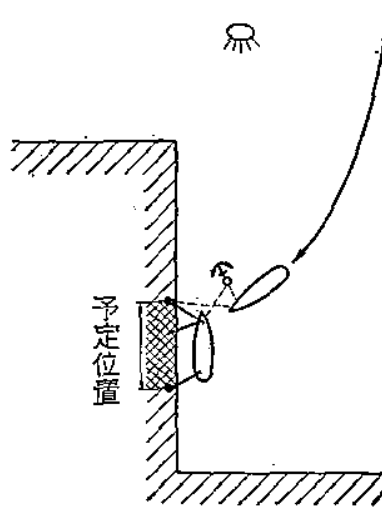
岸壁までの距離が船長とほぼ等しくなったときに、右舷錨を投じ、錨鎖を約 2 節程度繰り出して、同時に後進微速または後進半速にして前進惰力を止める。左舷船首から船首索及びフォワードスプリングを岸壁に送る。

その後、短時間に機関前進微速／右舵一杯と機関後進半速／左舵一杯を繰り返して、船の回頭作用と風潮圧によって右回頭を行ない、そして錨鎖の繰り出しや船首索などフォワードスプリングを調節して船を船首部から徐々に接岸するようにし、岸壁線と平行にして横付けする。

港則等によって投錨を禁止している港で、奥に余地がない場合にはタグボートの補助をつける。

図３－５

(ⅱ) 風潮がないときの左舷横付

まず係留予定位置からやや遠目から低速惰力で予定位置の手前に向けて進入し、ほぼ本船の船長の距離

にて、前進惰力がなくなり、かつ岸壁線に直角となるよう保針接近し、左舷側船首から岸壁に船首索を送り、その場回頭をして、他の係船索を送って、姿勢を制御しながら横付けする。

(ⅲ) 船尾に風潮を受け進入しての右舷横付

右舷接岸の場合も左舷接岸の場合とほぼ同様で、その前面において左舷錨を投入して左回頭をするが、この場合、機関と舵の操作による回頭が右回頭に比べて難しいため、少し前進惰力がある状態で左舷錨を投じて舵を左舷一杯とし、機関を停止したまま風潮による船首の転向を待って横付する。係船索の送り出しのタイミングやその使用法は左舷接岸の場合と同じである。

3.2.2　岸壁離岸法

ＶＬＣＣ離岸方法の一例

Fig.5　２３．５万DWT
ＶＬＣＣの入港
アプローチ操船パターン

Fig.6　２３．５万DWT ＶＬＣＣの
入港着桟操船パターン

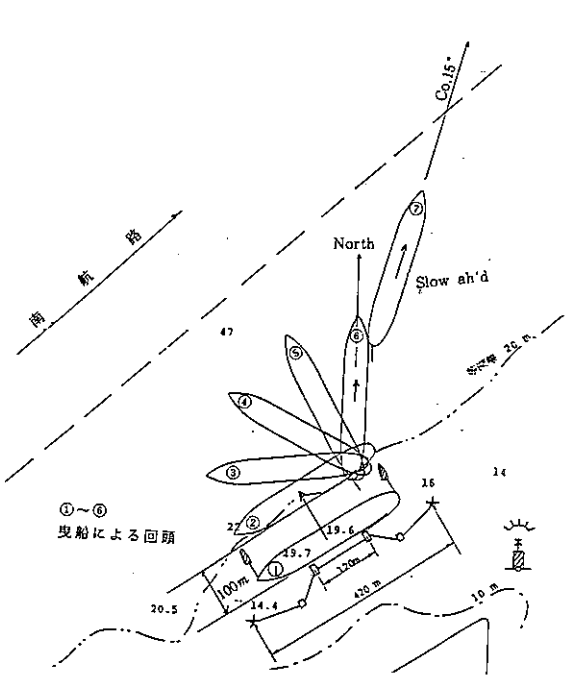
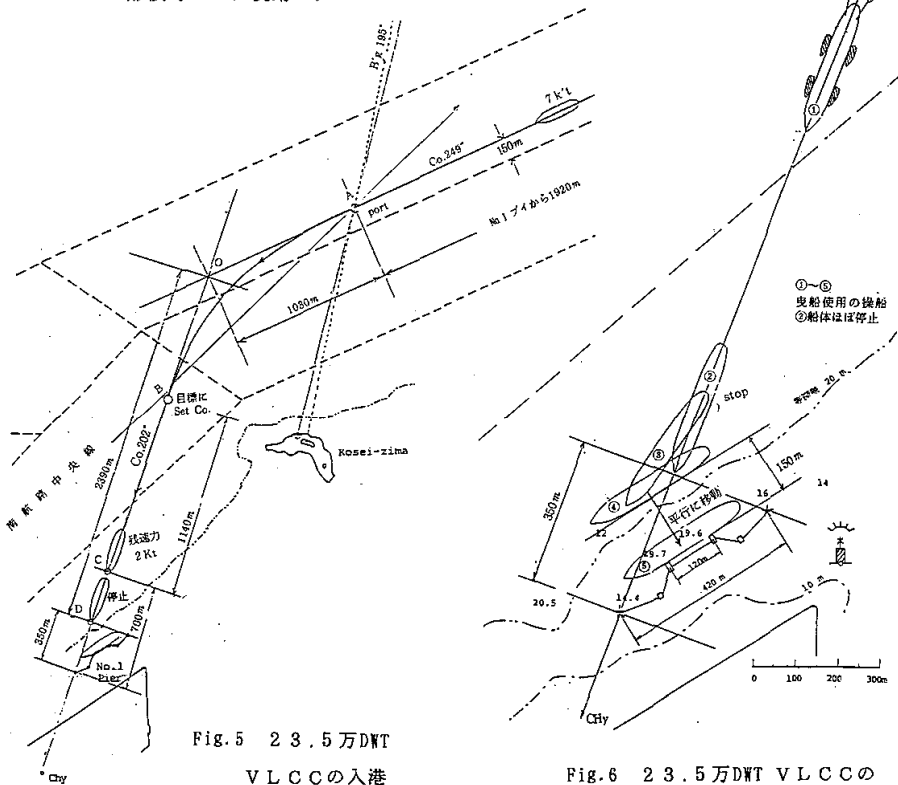
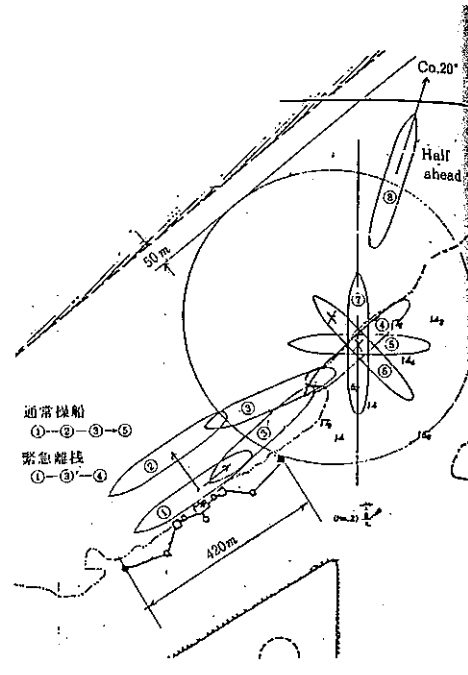



図３－６　離桟出港のパターン　　　図３－７　ﾀｰﾆﾝｸﾞﾍﾞｰｽﾝで回頭する出港ﾊﾟﾀｰﾝ

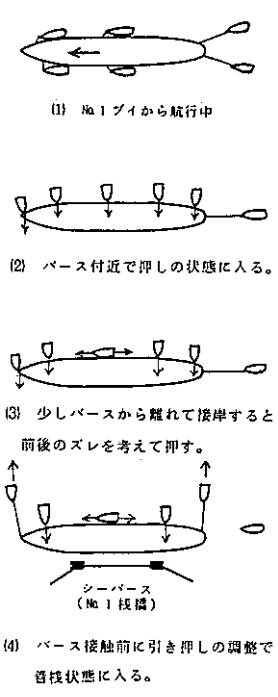
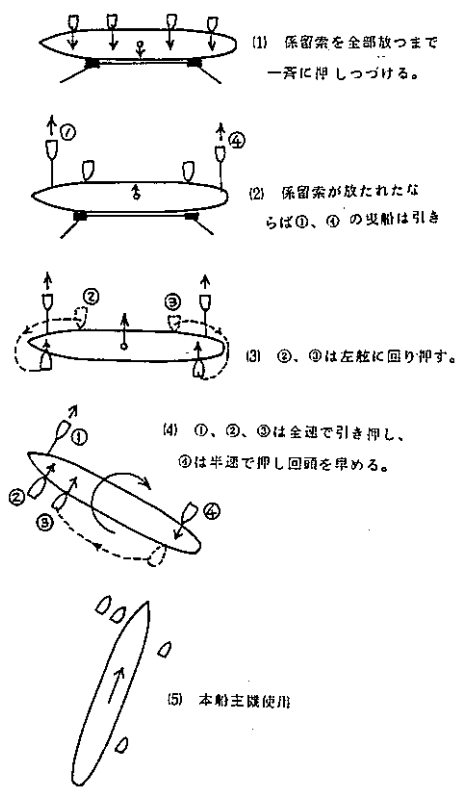
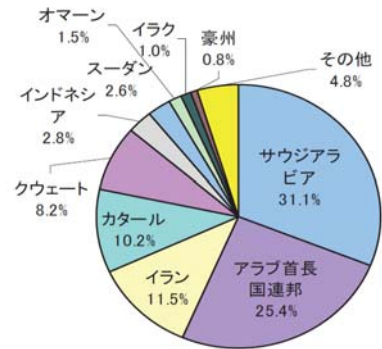



図３－８　入港時のタグ使用パターン　　　図３－９　出港時のタグ使用パターン

4章　貨油管装置

資源エネルギー庁の「平成１９年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書２００８）によると、2006年度における日本の原油供給は 99.6%輸入に依存しており、原油輸入量は2億3,865万klであった。

その輸入先を国別で見ると右表の通り中東地域からの輸入が全輸入量の 88.9%と大半を占め、続いて東南アジア（4.2%）、アフリカ（4.0%）の順となっている。また、中東地域から日本への原油輸入には、主としてVLCCが使われ、安全且つ安定的な海上輸送が行われている。

本章では、VLCCを中心とした大型原油タンカーにおける貨油管装置の操作取扱要領について述べる。

4.1　貨油管装置の目的と注意点

積地港での積荷時は基地側の送油装置により貨油管を介して各カーゴタンクへと積み込まれ、揚地港での揚荷時は本船のカーゴポンプを使い貨油管を介して基地側へと送油される。貨油管装置はこういった荷役のオペレーションが安全かつ効率的に行えるよう設計されるべきであり、特に操作時のミスによる被害を最小にするよう考慮が必要である。

過去の大規模な原油流出事故では、漂流油による海洋汚染に留まらず、沈殿油による海底汚染、漂着油による海岸汚染といった深刻な環境破壊と、海鳥や海洋生物といった生態系にも深刻なダメージを広範囲の地域に渡って引き起こしている。　更に、船舶航行への影響、漁業資源への損害、流出油の除去・回収費という経済面においてのダメージも深刻である。

また、原油は多種多様の炭化水素の混合物で、その成分の種類、割合によって、発火性、燃焼性が異なる。そして、原油から発生する原油ガスは引火性が強く、スパーク・静電気などによっても引火し、これが爆発・火災につながる。従い、カーゴタンク、カーゴポンプ、カーゴパイプライン内部では空船時・満船時の区別なく、常時危険な原油ガスが発生・滞留しており、開口部を経由して甲板上の空間に放散している。さらに、カーゴタンクには大量のカーゴオイルを積み込んでおり、これに引火すれば、大火災・大爆発をまねく恐れがある。

上述を踏まえて整理すると、タンカー特有の主な事故として次の4点が挙げられる。

(1) 原油の漏洩・流出による海洋汚濁

(2) 火災

(3) 爆発

(4) 原油ガスの毒性、あるいは酸素欠乏による中毒・窒息

貨油管装置の計画と操作に於いては特に以上のような事故を起こさないように十分な注意することが必要となる。

4.2　貨油管装置の操作手順と注意点

本項ではタンカー荷役実務の実際についての一例を紹介することで、操作手順と注意点を述べることとした。積地、揚地共にシーバースを前提としている。

4.2.1　積荷作業時

4.2.1.1 積付計画

以下の事項に付いて考慮の上、注意深く積付計画を策定する。

（1）　油種
（2）　容積、重量
（3）　液膨張
（4）　喫水、トリム
（5）　コンタミネーション防止と船体強度
（6）　複数港積み、複数港揚げ時のフレキシビリテイー
（7）　揚荷時の原油洗浄計画
（8）　最終積切タンク
（9）　ローディングレートの確認
（10）　本船上でのブレンド
（11）　ウィングタンクへの積み付け

4.2.1.2 積荷準備作業

入念な積付計画を策定後、実際の積荷作業が実施される。積荷バース係留作業後、直ちに積荷準備作業が開始されるが、一連の作業には迅速さと正確さの両方が要求され、緊張状態が継続する。この準備作業での緊張の途切れが事故の発生を招くため気を抜くことは許されない。人が作業を行なう以上、どこかで人為的なミスが生じる可能性も否めない。ヒューマンエラーを防ぐ為には、チェックリストの活用が非常に有効であり、船陸双方で活用されている。積荷準備には次のような作業を行なう。

（1）ファイヤーラインの配置
（2）チクサンアームあるいはカーゴホースの接続
（3）ボンディングケーブルの接続
（4）船陸間通路の確保
（5）緊急避難用
（6）上部構造開口の閉鎖

（7）　船陸間荷役打ち合わせ
（8）　バルブチェック等
（9）　カーゴタンクのドライチェック
（10）　積荷ライン作り
（11）　防火、消防、流出油防除資材の配置
（12）　積荷開始前に船内全員に対し注意喚起のための船内放送を行なう。

4.2.1.3　積荷作業

積荷は陸上のチクサンローディングアームなどの荷役施設をマニホールドに連結して、デッキデリベリイとタンク内のメインラインに直接つながっているダイレクトフィリングラインを通じて、積荷計画されたタンクに積込む。

積荷諸準備終了後，本船からローディングマスターに連絡して積荷開始となる。

4.2.1.4 積荷作業終了

積切作業を終了させる際は次の手順による。

① 積切作業が進み最終予定タンクのみとなる前に本船は最低積込レート（3, 000 m3/h）に落とすようターミナルに依頼する。
② マニホールド及び CCR にてレートが落ちたことを確認する。
③ ベントポストの開度を調整し、荷役終了時にタンク圧力を 0.49 MPa（4.9 bar）程度に持って行き、最終的にベントポストを閉とする。
④ 積荷ストップオーダーからストップするまでのタンクへの流入量を調査しておき、その量を考慮して積み切り予定アレージの手前でストップオーダーを出す。
⑤ マニホールド及び CCR にて流入が止まったことを確認したら、最終積み込みタンクのバルブを閉とする。積切った後もアレージとタンク圧に異常がないか継続してチェックする。ゲートバルブは油の流れが完全に止まり、陸上側の指示あるいは了解が得られるまで閉め切らない。
⑥ ターミナルからマニホールドバルブを閉めるように依頼されたら閉める。次いでマニホールドまわりのドレン弁を開とし、マニホールドまわりの残油をカーゴタンクに落とす。マニホールド付近の残油処置は本船側／陸上側間でその方法・手順につき十分打ち合わせの上実施する。
⑦ ドレンが完全に落ちたら陸上スタッフ指導の下、チクサンアームの取り外しを行なう。ホースオフはカーゴライン内の残油を十分ドレンオフした後実施する。
ホースオフには航海士が必ず立ち会って漏油等の危険が無いよう注意し、ホースオフ後はマニホールドに確実に盲板を施す。
⑧ 積切り後、液封防止対策を施しておく。

積切作業が終了すれば積量計算・確定の為に次の作業に掛かる。

① 積切と同時にアレージ計測、油の温度測定及び要すれば積荷の水分混入測定（検水）を実施し（サーベヤーが来船する場合は立会いの上実施）、総積み量（SHIP'S FIGURE）を算出する。

② 陸上数量（BL 数量）が知らされたら算出した総積み量との比較を行なう。その差が許容範囲を超えている場合、本船は PROTEST LETTER を作成しターミナルに手渡す。但し、このレターを出したからといって陸上数量が変わるわけではない

③ アレージ計測等が終了したら、積荷準備として行った作業を復旧あるいは片付けを行ない、出来るだけ早く出港出来る様にする。

- バルブの復旧（カーゴラインの残油処理及び液封防止並びにタンク圧管理を考慮)。
- マニホールド付近の復旧、片付け。
- ショアラダー、舷梯、クレーンの収納。
- ローカルバルブリモートコントロールボックス等の閉鎖等。

4.2.1.5 離桟、出港作業

積荷数量について問題なければそのまま離桟、出港となる。

① 着桟時に用意した非常用曳航索を取り込む。
② 総員出港スタンバイとし、全員配置に着く。
③ 主機関と舵の試運転を行ない、機器の正常を確認する。
④ 水先人が乗船すると、タグを取るように指示されるので指定場所にタグをとる。
⑤ 水先人の指示のもと順次、係船索を放ち離桟する。

4.2.2 揚荷作業時

本船側のポンプを使用し本船主体となって荷役を行なう為、積荷作業以上に神経を尖らせなければならないが、基本的な事は変わらずチェックリストを有効活用して、事故を起こさないよう全力を尽くす。以降、揚地における揚荷作業は日本国内ターミナルを想定して述べる。

4.2.2.1 入港、着桟、係船作業

満船入港となるので空船の場合と大きく異なり、速力の低減計画は、より慎重とならなければならない。つまり早めに安全な速力にする必要がある。

日本のタグボートはペルシャ湾のタグボートと異なり、タグラインがクレモナロープ製であり取扱いが簡単で安全である。

揚荷作業に必要不可欠なイナートガス装置（IGS）運転準備として、入港前からスクラバーポンプを運転し、スクラバー内部を綺麗にしておく。

他の要件は積地、入港時と変わらないので省略する。

4.2.2.2 揚荷計画

積付計画段階で原油洗浄を含め、安全に効率的揚荷が出来るよう配慮して積付けがなされていても、傭船者及び揚地ターミナルの要請等により、揚地、揚油種、揚順、揚量等が変更される場合がある。

揚荷計画立案に際しては、DISCHARGING ORDER に基づき、喫水、トリム、船体強度等を十分検討の上、安全かつ効率的な揚荷計画を立案する。

4.2.2.3 揚荷準備作業

揚荷バース係留作業終了後、直ちに次のような揚荷準備作業を行なう。

（1） ターミナルとの荷役作業についての打ち合わせ
（2） 原油洗浄の打ち合わせ
（3） アレージ計測、油量計算
（4） 安全対策の実施と確認
（5） チクサンアーム、カーゴホース接続
（6） 荷役制御室（CCR, Cargo Control Room）
（7） ポンプ室
（8） 上甲板
（9） 陸上サーベヤーによる積荷数量の検量

4.2.2.4 揚荷作業

各準備作業を進めると共に、チェックリストによるチェック等が OK であり、船陸共に準備が完了したらいよいよ揚荷開始となる。陸側との打ち合わせにおいて、入港前の揚荷計画書を細部に亘り確認した後、それに基づき揚荷開始となる。

(2) 定常揚荷中

＜ポイント＞

ポンプ効率を考え、いかに有効にポンプを使うことが重要である。つまりポンプを最終段階ぎりぎりまで運転すること及びポンプが吸引する油がなく、遊んでいるような状態を作らないこと。浚え作業時は十分なトリムをつけ油がベルマウスに集まり易くする。

揚荷能率は本船のカーゴポンプ容量、積油の種類、陸上側送油管口径の大小、受け入れタンクの遠近、タンク液面の高低、原油洗浄実施等の条件に左右される。

揚荷はカーゴポンプで出来るだけ揚げ、ストリッピングポンプによる荷役時間を極力短くして、且つ残油量を最小化するのが基本である。そのためにベルマウスに対し適度なトリムとヒールを与える等の操作をするが、BOILER、補機、船底、係船索等に不具合とならない範囲で調節する。またヒールは 1° 以内に抑える。

エダクターが 2 台あれば、1 台は COW の浚えに使用し、もう 1 台は揚荷に使用する。カーゴポンプで吐出量を絞って極限まで揚荷するよりも早目にエダクターに切り替えた方が揚荷効率とポンプ保護の双方に得策である。

又、各揚荷タンクは各々適当なアレージ差を付けてポンプ吸引圧を極力長時間保ってカーゴポンプの駆動可能時間を延ばし、揚荷効率を上げることが肝要である。

(3) 原油洗浄作業（Crude Oil Washing ; COW）

原油はアスファルト、ワックス成分等のカーゴタンク内沈殿物を溶解させ易くする特性を有しているので、原油洗浄は洗浄効果が優れている。この性質を利用して揚荷する原油の一部をタンク洗浄系統（洗浄ライン）へ還流させタンク洗浄を行ないながら原油残留物を貨油と同時に揚荷するタンク洗浄方式を原油洗浄という。

4.2.3 航海中の諸作業

4.2.3.1 空船航海

空船航海は積荷作業を控えており、荷役機器の整備、点検に重点を置くが、ドラフトが浅く しぶきが掛かり難いので船体整備も計画する。また、カーゴタンク内の修理等が必要となれば、ライン洗浄、タンク洗浄、ガスフリー作業を計画する。

（1）荷役用油圧機器（作動油、フィルター、油圧ポンプ）の整備
（2）ベント装置フレームアレスターの整備
（3）ホースハンドリングクレーン、ウインドラス、ウインチのグリースアップ
（4）係船装置（デッキスタンドローラー、キャプスタン等）のグリースアップ
（5）係船ワイヤー、ファイヤーワイヤーのグリースアップ
（6）係船索、メッセンジャーロープの点検。要すれば新換え
（7）上甲板の錆打ち、塗装作業（発錆はトラブルの原因となるので可能な限り錆を取り除く事が重要となる）
（8）全カーゴタンクの残油計測及び酸素濃度測定
（9）バラスト水の状況調査
（10）その他、修理及び調整作業

4.2.3.2 満船航海

満船航海は喫水が深く、しぶきをかぶり易いので船首部の整備作業は計画せず、空とな

っているバラストタンクの内検等、この時しか出来ないことを中心に計画をたてる。

(1) バラストタンク内検（発錆が最も酷く本船寿命を左右するので状態を把握することが重要となる）

(2) カーゴの検温・検尺・検水を実施し、現在のカーゴ数量を計算し、ターミナルに連絡

(3) 原油洗浄ラインの圧力テスト及び原油洗浄マシンの整備

(4) 船体中央部より後方の上甲板整備作業

(6) その他、修理及び調整作業

5章 バラスト管装置

バラスト管装置の設計基準については、JSDS-10「バラスト管装置設計基準」（Ｓ４５年９月）に詳しく述べられているが、ここでは、「商船のヒューマンエラー事故防止」の観点から、前述の「4 章　貨油管装置」と船種を合せて、大型原油タンカーを中心に「バラスト管装置の操作取扱要領」について述べる。

5.1 バラストの目的と注意点

船舶の中でも商船は、経済的に荷物を運ぶため、積荷の状態によりバラストを調整して姿勢制御を行う必要がある。

空荷の状態では、航路の海象条件、推進器（プロペラ）や舵の没水率、復原性や船体強度を考慮しながら、できるだけ排水量が小さく喫水を浅くした状態に調整する。 一方、満載状態では、できるだけ多くの荷物を積載し少ない馬力で所定の船速で航行するため、バラスト量は最少の状態で計画する。前者の状態をノーマルバラストコンディション、後者の状態をフルロードコンディションと呼ぶ。　また、海象が荒れた状態では、ノーマルバラストコンディションよりも喫水を深めたヘビーバラスト／ゲールバラストコンディションとすることもある。

さらに、バラストの状態を限定出来ないが、バラスト量により船体振動や乗り心地に影響することもあり、調整することもある。これらの計画設計条件については、LLC、MARPOL、SOLAS 及び船級協会の規則等により制限の規定がある。

一般的に、これらの調整には、船内に設けたバラストタンク内に海水を注排水することにより行うが､注水することをバラスティング､排水することをデバラスティングという。稀に船種によっては、固定バラストを積載する場合もある。

バラスト管装置の設備能力は、上記の目的から、港湾の貨物積載設備の能力（荷役時間）より、要目及びシステムが決定されることが多い。

以上、バラストの目的および留意点をまとめると、次のようになる。

船舶の貨物の積載・揚げ荷及び航行状況に於いて；

(1) 適切な排水量・喫水・トリムの保持

(2) 適切な GM とし、適当な復原力の保持

(3) 過大曲げモーメント・過大剪断力の軽減

(4) 船体振動の減少、乗り心地の改善

(5) （目的ではないが）操作手順・法令を遵守し、環境に配慮したバラスト調整

5.2 バラスト管装置の操作手順と注意点

バラスト操作(Ballast operation）は荷役中・航海中に荷役制御室から制御される。特に油濁防止とポンプ運転中のウォーターハンマー及びドライ運転に注意して操作する。最近は環境保全のために、積地港へ着く前に、公海上でバラスト交換作業があり、その方式として、フロースルー方式とシーケンシャル方式がある。シーケンシャル方式は、ポンプ発停からバルブ制御まで自動制御されることもある。

船主によっては、操作訓練と異常事態への対応訓練を目的として陸上の訓練シュミレーターで、乗船前に操作訓練を行っている。操作は揚げ荷中、積み荷中に貨物操作と同時に行われるので、操作手順は 4.4 貨油管装置の操作手順と注意点を参照のこと。

5.2.1 積み荷作業中のバラスト排水操作

積み荷は最初は少量であるので、この間に充分タンク・機器・配管等を点検して、異常の有無を確認する。異常がなければ、積み荷量は除々に増加して行く。バラスト排出はターミナルの許可を得て排出を開始するが、油濁防止のために、バラストタンク内に油膜が存在せぬことを確認すること。先ず、デバラスティングはタンク液面と喫水との液位差で重力排水する。開始時には排出口付近海面を目視して油膜なきことを確認する。

積み荷作業が進むと喫水が深くなって、液面差が小さくなり重力排水が不可能となるので、バラストポンプ排水に切り替える。蒸気タービン駆動の場合は電動モーター駆動に比べて、運転準備に 30 分程度要するので早目の準備が必要である。

カーゴポンプと同様、バラストポンプ始動時は吐出バルブ全閉・吸入バルブ全開で行う。起動後、吐出圧力が正常に上がればポンプ吐出バルブを除々に開けるが、ウォー‐ターハンマーが発生せぬように注意して機器操作をする。但し、吐出弁は締め切ったままで長時間の運転をしてはならない。渦巻きポンプは動力の大部分が熱に変換され、ケーシング内液温が上昇して蒸発し、内部を焼きつかせる恐れがあるからである。

ウォー‐ターハンマー防止対策としては以下の項目が掲げられる。

(1)ポンプ始動前には、必ず吸込バルブを全開にする。万一、吸込バルブを全閉で起動した場合は一旦、ポンプを停止し吸込バルブを全開した後、再起動しなければならない。過去、吸込バルブ全閉で起動し高吸込真空状態で、吸込バルブ全開してポンプケーシングが破損した例、バルブが破損した例がある。ポンプケーシング、ポンプストレーナーおよび配管内のエアー抜きを充分に行う。

(2)ポンプ起動後、吐出バルブを開く場合はできるだけゆっくり開く。

(3)ポンプ運転中、低水位のタンクから高水位のタンクへ吸込ラインを切り換える場合は、吸込負圧からプラス圧力への急変を避けるため、ポンプ吐出バルブを 1/8 開度まで絞り、吸込流速を落として真空度を下げた後、高水位タンクの弁を除々にバルブ操作して、低水位のタンクのバルブを除々に閉める。　又　ポンプ吐出バルブを締め切ったままで行う、ドライ運転も避けなければならない。

更にバラストタンク水面が低くなると、キャビテーションによりポンピングができなくなるので、ストリッピングエダクター運転に切り換える。バラスト排水作業が終了したら、船の姿勢をイーブントリムにもって行く。この場合にはバラストの調整はできないので、カーゴタンク積荷量で調整することになる。

ポンプのドライ運転（ポンプ内部に液のない状態）はしてはならない。ポンプのメカニカルシールが損傷して大きな事故へと発展する。この防止のために電動駆動ポンプの場合は、低電流値トリップを装備する場合がある。

5.2.2 航海中のバラスト交換操作

バラスト水交換は、２００４年に採択されたバラスト水管理のための国際条約（批准国３０以上、世界の商船船腹量３５％以上にて発効し、１２ヶ月後に適用される。）にて義務づけられる。

VLCC では、２０１６年までに発効された場合、原則として陸岸から２００海里以上はなれた、水深２００m以上の海域にて、バラスト交換するか、又はバラスト水処理装置の設置が義務付けられる。　又、寄港国（オーストラリア等）によっては既に、バラスト交換を義務付けているところもある。

バラスト交換の方法として、シーケンシャル方式とフロースルー方式があるが、シーケンシャル方式の場合は、各バラストタンク全量のバラスト排出及び再注入を順次、各タンク毎に行う。

また、フロースルー方式の場合は、バラストタンク容量の３倍のバラストを注入して、バラスト置換を行う。（この場合、約９５％のバラストが交換される。）　この際、バラスト排出に伴う背圧によって、バラストタンクを加圧することがないように、タンクトップ上に十分な排水開口面積を確保して行う必要がある。

いずれの方式に於いても、バラスト交換時に船の縦強度、復原力、喫水を十分考慮すると共に穏やかな海象下の広い海域で、また他船から十分に離れて実施することが肝要である。

5.2.3 揚げ荷作業中のバラスト水注入操作

バラスト水注入操作はターミナルの許可を得て、バラスト水注入を開始する。先ず、タンク液面と喫水との液位差で重力注水する。揚荷作業が進むと喫水が浅くなって、重力注水が不可能となるので バラストポンプによる注水に切り替える。タンク満水に近づくとタンクを加圧せぬように注意する。